



## V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL II CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL

18 a 20 de Outubro de 2013 – Universidade Federal de Viçosa - UFV

### Indicadores de sostenibilidad de la agricultura y ganadería española<sup>1</sup>

Carlos G. H. Díaz-Ambrona<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Parte del estudio Indicadores de sostenibilidad de la agricultura y ganadería española, financiado por la Plataforma Tecnológica de Agricultura Sostenible de España.

<sup>2</sup>Profesor del Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid.

**Resumen:** La sostenibilidad es un adjetivo que se emplea para caracterizar la agricultura según el grado de cumplimiento de objetivos o metas en los ámbitos que la afectan, normalmente en aspectos agroecológicos, ambientales y socioeconómicos. Tiene un carácter dinámico y temporal, por lo que en términos absolutos no hay un fin, sino que su meta cambia conforme lo hacen sus dimensiones. España es uno de los principales países productores de la Unión Europea tanto en términos de superficie cultivada como en valor de sus producciones. El objeto de este estudio es presentar una metodología de contabilidad de la sostenibilidad que pueda incorporarse en los mecanismos estadísticos nacionales para valorar su desempeño en el transcurso de los años. Para la obtención de los indicadores de sostenibilidad y su evaluación en una serie temporal de al menos 30 años, se ha utilizado los datos estadísticos del Ministerio de Agricultura y otros datos oficiales. El análisis de las tendencias ofrece la evolución de los valores numéricos de los indicadores en términos de eficiencia, unidades físicas utilizadas para obtener una unidad de producto o de su valor en euros. Los cultivos analizados han sido: trigo, cebada, maíz, girasol, remolacha azucarera, vid, olivar para aceite, agrios, melón y tomate. Los indicadores físicos: tierra, agua, energía, erosión, materia orgánica del suelo y flujo de carbono: indicadores socio-económicos: producción final agraria, precios, renta, empleo y usos de fertilizantes. En general, todos los cultivos aumentaron su eficiencia productiva, mayor en regadío que en secano. La capacidad de fijación de carbono de la agricultura española se ha multiplicado por cinco en los últimos setenta años, como resultado del incremento de la productividad de los cultivos, en términos de biomasa total, y por la modificación de las técnicas de manejo del suelo. En ganadería se presentan datos de carne de cerdo, carne de pollo y producción de huevos, mostrando también una mejora en eficiencia y en los indicadores económicos. Globalmente podemos decir que la agricultura y ganadería española presentan una tendencia hacia la sostenibilidad, siendo sus principales amenazas los factores extremos meteorológicos y la inestabilidad de los mercados actuales.

**Palabras clave:** Contabilidad, cultivos, estadísticas, metodología

### **Indicadores de sustentabilidade da agricultura e pecuária espanhola**

**Resumo:** Sustentabilidade é um adjetivo usado para caracterizar a agricultura de acordo com o grau de cumprimento das metas. Essas metas são relacionadas com dimensões agroecológicas, ambientais e socioeconômicas. Sustentabilidade é um conceito dinâmico e temporal. Em termos absolutos, sustentabilidade não há um valor final porque muda como suas dimensões vira. A Espanha é um dos principais países agrícolas da União Europeia, tanto em termos de terras de cultura e valor de produções. O objeto deste estudo é apresentar uma metodologia de conta de sustentabilidade deve ser incorporada a estatística nacional e avaliar o seu desempenho no decorrer dos anos. Por esse motivo as fontes de dados utilizadas crase as estatísticas do Departamento de Agricultura e de outras fontes bibliográficas. Apresentamos um conjunto de indicadores de sustentabilidade e sua avaliação em uma série de tempo de pelo menos 30 anos. A análise de tendências apresenta a evolução dos valores numéricos dos indicadores em termos de eficiência, unidades físicas, usados por uma unidade do produto ou o seu valor em euros. As culturas analisadas foram: trigo, cevada, milho, girassol, beterraba, uva de vinho, azeite, citrinos, melão e tomate. Indicadores físicos foram: terra, água, energia, erosão, matéria orgânica do solo e balanço de carbono; Indicadores socioeconômicos foram: produção agrícola final, preços, renda, emprego e uso de fertilizantes. Em geral, todas as culturas aumentaram sua eficiência produtiva, maior em irrigada do que em terra seca. La capacidade de sequestro de carbono da agricultura espanhola tem multiplicado por cinco nos últimos setenta anos, como resultado do aumento da produtividade das culturas, em termos de biomassa total e a modificação das técnicas de gestão do solo. O sector pecuário apresenta dados de carne de porco, frangos e galinha de postura. Aqueles que mostraram uma melhoria na eficiência e indicadores econômicos. No geral, podemos dizer que a agricultura espanhola e subsector de pecuária têm uma tendência para a sustentabilidade, sendo suas principais ameaças fatores meteorológicos extremos e a instabilidade dos mercados de hoje.

**Palavras-chave:** Contabilidade culturas, estatística, metodologia

### **Indicators of sustainability of agriculture and livestock in Spain**

**Abstract:** Sustainability is an adjective used to characterize agriculture according to the degree of fulfillment of goals. Those goals are related to agro-ecological, environmental and socio-economic dimensions. Sustainability is a dynamic and temporal character. In absolute terms there is not an ending value because it changes as its dimensions make it. Spain is one of the main agricultural countries of the European Union both in terms of crop land and value of productions. The object of this study is to present a methodology of sustainability account to be incorporated into national statistical and to assess their performance in the course of the years. For that reason the data sources used have been the statistics of the Department of Agriculture and from others database. We presented a set of indicators of sustainability and its evaluation in a time series of at least 30 years. The trend analysis offers the evolution of the numerical values of the indicators in terms of efficiency, physical units used for a unit of product or its value in euros. The analyzed crops have been: wheat, barley, maize, sunflower, sugar beet, wine grape, olive oil, citrus, melon and tomato. Physical indicators were: land, water, energy, erosion, soil organic matter, and carbon balance; socio-economic

indicators were: agricultural final production, prices, income, employment and use of fertilizers. In general, all crops increased their productive efficiency, higher in irrigated than on dry land. Spanish agricultural carbon sequestration capacity has multiplied by five in the last seventy years, as a result of the increase in the productivity of crops, in terms of total biomass and the modification of the soil management techniques. Livestock sector presents data of pork, broilers and laying hen. Those showed an improvement in efficiency and economic indicators. Overall we can say that Spanish agriculture and livestock subsector have a tendency towards sustainability, being its main threats extreme meteorological factors and the instability of today's markets.

**Keywords:** Account, crop, methodology, statistic

### Introducción

En 1930, el número total de habitantes del planeta era de alrededor de 2000 millones de personas, en 1975 esa cifra se había duplicado y a finales del siglo XX ascendía a 6700 millones. Actualmente se superan los 7000 millones de habitantes. Nunca la población humana ha crecido con tanta rapidez. Lo ha podido hacer gracias al éxito sin precedentes de la tecnificación de la agricultura y su efecto en el crecimiento del suministro de alimentos. Alimentar a una población creciente es el reto diario de la agricultura.

El término sostenible se entiende por la traducción de la expresión inglesa *sustainable* que tiene por significado «*keep in existence; keep up; maintain or prolong*» mantener su existencia, por lo que también se emplea el término sustentable. Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española en el avance de su vigésima tercera edición (RAE, 2013) clarifica la definición del término sostenibilidad. Según ese diccionario es una cualidad de sostenible, y sostenible es un adjetivo que se utiliza según su segunda afección «especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente». Podemos decir que es un concepto relativamente nuevo, pues en ediciones anteriores no quedaba claro el uso que se estaba dando de la palabra. Así en la edición de 1992 decía que era la adjetivación del verbo sostener, con procedencia del latín *sustinere*, en su primera afección se consideraba sinónimo de «sustentar» y lo definía como «mantener firme una cosa»; si bien en su quinta afección encontrábamos «dar a uno lo necesario para su manutención», también lo presentaba como sinónimo de sustentar del latín *sustentare*, derivado de *sustinere*. Considerando la segunda afección, pues la primera se refiere claramente a las personas, tenemos «conservar una cosa en su ser o estado» y aparece su palabra adjetivada sustentable «que se puede sustentar o defender con razones». Es decir agricultura sostenible sería aquella agricultura que se puede conservar en su ser o estado. Se tienen así dos puntos de vista: Primero, se considera como un acercamiento al desarrollo de la agricultura en respuesta a una serie de impactos, una tendencia, un fluir hacia una meta, que conlleva el cambio implícito. Y segundo, se interpreta como la propiedad que tiene el desarrollo de la agricultura en respuestas a los factores que la amenazan.

Aunque la idea de sostenibilidad no es nueva, si lo es su toma de conciencia, al observarse los problemas que determinadas malas prácticas agrarias causan sobre el entorno. A partir de los años setenta, el modelo productivista agrario, intensivo en capital y energía, entra en crisis motivada por el desarrollo político agrario, el derrumbamiento del proteccionismo interno y por el problema medio ambiental de una producción caracterizada por la especialización y el monocultivo (Goodman y Redclift, 1989; Rosset y Altieri, 1997). Ante esta situación, en el seno de estos sistemas agrarios

de altos insumos y especializados, surgen nuevas ideas sobre el planteamiento de sistemas de producción diferentes. Estos nuevos sistemas estarían caracterizados por: una reducción de los costes de producción; mantener unos ingresos suficientes en la explotación; unas adecuadas condiciones de trabajo; y tener en la ciencia y la técnica la base del desarrollo que permita mantener los rendimientos e incrementar la calidad sin comprometer el medio ambiente (Le Pape, 1981).

Durante la conferencia Mundial de Río de Janeiro (Brasil, 1992) organizada por las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo se redactó una definición concertada para definir la agricultura sostenible. Esta definición dice: «La agricultura sustentable es un modelo de organización social y económica basado en una visión equitativa y participativa del desarrollo, que reconoce al medio ambiente y los recursos naturales como bases de la actividad económica. La agricultura es sustentable cuando es ecológicamente segura, económicamente viable, socialmente justa, culturalmente apropiada y basada en un método científico holístico». Para Thomas y Kevan (1993) la agricultura sostenible deriva de la ecología aplicada y tiene como principal objetivo el mantenimiento de la capacidad productiva del suelo durante tiempo indefinido. Sin embargo, no deja de ser un término que goza de múltiples interpretaciones según la perspectiva desde la que se analice (Jiménez Díaz, 1998).

La agricultura sostenible consiste en un conjunto de actividades (manejo y utilización del agroecosistema) que pueden influir o controlar el sistema de tal forma que se mantenga su capacidad productiva y de regeneración, su diversidad biológica, y la viabilidad y vitalidad en su funcionamiento, que permita, ahora y en el futuro, obtener beneficios ecológicos, económicos y sociales, garantice la calidad de vida del agricultor, tanto al nivel local, nacional y global sin dañar otros ecosistemas y sistemas sociales. Se puede decir que la agricultura sostenible es la gestión y utilización del ecosistema agrario de forma que se mantenga la diversidad biológica, la productividad, la capacidad de regeneración, la vitalidad, y esto se debe cumplir hoy y en el futuro sin dañar a otros ecosistemas –propiedades referidas a importantes funciones ecológicas, económicas y sociales en el ámbito mundial, nacional y local (Lehman *et al.*, 1993). La producción agraria depende de la capacidad fisiológica de las plantas y su entorno. Qué plantas y cómo se cultivan son decisiones que dependen de la utilidad de los productos, del coste de producción y del riesgo social, económico o ambiental. Las decisiones sobre el cultivo dependen de factores como el suelo o el clima, junto con la disponibilidad de mano de obra, el mercado o la disponibilidad de capital y tecnología. En cualquier caso la gestión agraria se entiende como una actividad integrada en la que cada parcela tiene su propia historia en cuanto a uso y capacidad productiva.

La sostenibilidad es un concepto multidimensional. La agricultura debe satisfacer a la vez criterios de tipo ambiental, agroecológico, social, económico y legislativo. Contestar a la pregunta ¿cuál criterio debe tener más pes? es difícil. Dependerá de muchas circunstancias: una veces podrán ser legislativas (por ejemplo en la Unión Europea la agricultura debe cumplir con la Directiva de Nitratos), otras veces productivas (erradicación del hambre), otras ambientales (producciones agrarias en espacios naturales), otras de índole social (mantenimiento de la población rural). Por eso es clave la definición del objetivo o meta a alcanzar por la agricultura de una región o país. En este sentido un meta importante es la de garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de la población mundial, objetivo que varía a escala temporal puesto que estamos en una fase de incremento constante de la población mundial.

El enfoque analítico debe ser sistémico. Aunque se analice por separado el sistema de cultivo, es decir un cultivo y sus prácticas de manejo, éstos deben ser integrados al nivel de explotación, región, país o mundo. Cuando se observa un campo

de cultivo a lo largo de los años se pueden apreciar los efectos de la rotación de cultivos, las prácticas de labranza, las enmiendas del suelo, la exportación del material cosechado y su rendimiento, y con toda esa información analizar el uso de los recursos, hacer el balance de costes y beneficios, ver sus efectos sociales y ambientales. Los cultivos y las prácticas de manejo empleadas dentro de una explotación concreta constituyen un sistema de explotación. Una explotación es un sistema orientado por objetivos. Los objetivos marcan como se va a invertir el capital y la mano de obra en las actividades de producción. La disponibilidad de capital y mano de obra, y la gestión del riesgo imponen una serie de restricciones sobre que cultivos se van a sembrar, el tipo de rotación y la intensificación del cultivo entre otras prácticas de manejo. Recordemos que: «La clave del éxito en la agricultura es poder identificar y ajustar tácticamente los principales flujos de control. El proceso de decisión no es tan complejo como puede parecer a primera vista (Connor *et al.*, 2011)».

### **Indicadores de sostenibilidad**

Un indicador es una medida del estado de un sistema que puede ser empleado en la evaluación del efecto que tienen nuestras acciones sobre un determinado recurso y que permite ajustar nuestras acciones para conseguir un determinado objetivo. Algunos indicadores son simplemente medidas directas de un efecto, tal como la cantidad de agua de riego que dispone una explotación o el rendimiento anual de maíz de esa finca. Estos indicadores son fáciles de medir y dan, en este caso, una medida directa y precisa de la cantidad de agua empleada en la producción de grano de maíz. De todas formas hay otros efectos que no pueden ser descritos con un indicador simple y directo. Un ejemplo es la cantidad de nitrógeno lixiviado de una explotación a las aguas subterráneas. Un lisímetro puede ser usado para tomar una medida del nitrógeno lavado en un punto seleccionado de la finca, pero no es fácil extrapolar el valor a la totalidad de la explotación. La cantidad total de nitrógeno lavado puede variar en función de la lluvia, del tipo de suelo, de la profundidad del riego y del momento. Si la medida del lisímetro se usa como un indicador hay que dotar al agricultor de un proceso de cálculo para que a partir de una medida se estime el valor del lavado total de la finca.

Otro tipo más de indicador son los indicadores derivados. Que se emplean cuando es imposible, o no resulta práctico, hacer una medida directa. Por ejemplo, la productividad de un suelo puede ser descrita por un extenso número de características físicas, químicas y biológicas que van a ser costosas y complicadas de medir. En vez de ello, se puede emplear un indicador derivado tal como la población de lombrices de tierra, dado que la mayoría de las propiedades que determinan la salud de un suelo influyen en la población de lombrices.

La evaluación y el seguimiento de la sostenibilidad son extremadamente complejas y difíciles debido a que envuelven numerosas disciplinas y sectores. Cada una de estas disciplinas y sectores tienen diferencias en la comprensión y apreciación de los indicadores que deben ser usados, complicando el proceso de evaluación y haciendo difícil el alcanzar un consenso entre todos.

Existen diversas metodologías que, a partir del estudio de los procesos y componentes que intervienen en los sistemas agrarios, permite evaluar y diseñar sistemas agrarios sostenibles (Vereijken, 1994; Lewandowski *et al.*, 1999; González de Miguel *et al.*, 2009). Estas metodologías consisten en trabajar conjuntamente al nivel de la explotación y del ecosistema, previamente fijados una serie de indicadores. El término indicador se define como una variable que nos proporciona información sobre otras variables que son más difíciles de medir (Grass *et al.*, 1989). Estos indicadores se emplean para describir los componentes y la condición de ecosistema. Los indicadores

seleccionados deben ser alguna característica que se vea afectada directa o indirectamente por las prácticas productivas. El seguimiento a lo largo del tiempo de estos indicadores permitirá evaluar la sostenibilidad del sistema. Además se pueden establecer valores de tolerancia para determinados indicadores entre los que podrá variar el valor del indicador sin poner en riesgos su sostenibilidad. Los indicadores permiten entender e interpretar un sistema complejo ya que:

- Esquematizan los datos disponibles.
- Muestran el estado actual o del momento o momentos que se analizan.
- Sirven para demostrar el grado de cumplimiento de los objetivos anteriormente establecidos.
- Informan a los usuarios sobre el estado actual o evolución que ha experimentado el sistema bajo unas determinadas prácticas de manejo.

Para el análisis del sistema agrario es necesario definir un esquema previo para el diseño de indicadores de sostenibilidad basado en la formulación de los objetivos a alcanzar. De esta forma se proponen cuatro cuestiones a responder:

- ¿Cuáles son los objetivos generales?
- ¿Cuáles son los recursos disponibles?
- ¿Cuáles son las tecnologías y métodos de manejo?
- ¿Qué resultados se esperan?

Para cada cuestión, y dentro de ella para cada descriptor seleccionado como relevante, hay que encontrar uno o varios indicadores. Los indicadores son una medida del efecto de la operación del sistema sobre el descriptor. Se considera que cuando el sistema es sostenible entonces los procesos del sistema tienen un efecto positivo sobre el descriptor y un efecto negativo en caso contrario. Análogamente se definen indicadores de forma más concreta para los recursos disponible del sistema, las operaciones dentro del sistema, es decir su manejo, y finalmente sobre sus resultados o efectos e influencias que tiene sobre otros sistemas relacionados.

La sostenibilidad implica el análisis temporal, por lo que es necesario acceder a una serie de años de resultados lo suficientemente extensa como para poder obtener conclusiones (escala temporal). Lo que dificulta, por diversas razones, la obtención de datos directos de las parcelas de cultivo, debido más que nada al tiempo en que se tarda en tener estos datos. Por esta razón se emplean, en exceso, metodologías más descriptivas o cualitativas para evaluar el grado de sostenibilidad, metodologías que aportan cierto grado de subjetividad en función de la persona que las elabora. Otra forma, cada vez más extendida, es el empleo de modelos de simulación matemática que sinteticen el sistema y se construyan en función de los objetivos propuestos. Modelos de simulación, que una vez calibrados y validados para una determinada zona puedan aplicarse a series temporales lo suficientemente representativas como para obtener conclusiones sobre los efectos que el manejo del sistema está produciendo. La ventaja de los modelos frente a los métodos cualitativos es que reproducen los procesos ecológicos en los que están envueltos las variables que se quieren estudiar del sistema (Díaz-Ambrona, 1999). En todo caso, son necesarios estudios de campo a largo plazo para verificar el mantenimiento de la productividad indefinidamente (Sandor y Eash, 1991). Aunque, los resultados obtenidos recientemente en estudios de campo no han comprobado la incidencia de los cambios tecnológicos; los estudios a largo plazo pierden validez con el tiempo ya que la tecnología cambia con el tiempo (Frye y Thomas, 1991).

### **Selección de indicadores**

Las características que debe reunir un indicador son:

- **Tangible.** El indicador debe recoger una variable o proceso que sea conocido o de fácil descripción, a la vez que representativa de aquello para lo cual está definido.
- **Cuantificable y de fácil medición.** La toma de datos no debe ser difícil ni costosa. Deben sintetizar los procesos que ocurren en el sistema. La medición y cuantificación del indicador debe ser fácil y sencilla y no suponer una inversión significativa de capital, en equipos o en personal técnico cualificado. Debe recoger aquella información que el agricultor obtenga de forma rutinaria como parte de sus prácticas de manejo y por tanto que no sea prohibitivo en su coste (por ejemplo el rendimiento de los cultivos, las dosis de fertilizantes aplicados). El indicador debe ser medido con técnicas aceptadas y bien documentadas de tal forma que se asegure la reproducción de la medida y la consistencia de sus valores tanto dentro de la misma explotación como cuando se comparan explotaciones entre sí. El empleo de métodos científicamente contrastados puede servir de cara a futuras investigaciones, de la misma forma que el empleo de sistemas de control reconocidos.
- **Aplicable sobre un rango de diferentes agro-ecosistemas y sistemas económicos y sociales.** Deben ser comparables entre explotaciones. El indicador debe permitir la comparación entre agricultores y sistemas de producción. Por ejemplo, el beneficio por hectárea o por superficie agraria útil es más comparable que el beneficio total de la explotación. Hay propiedades, tales como el tipo de suelo, la disponibilidad de agua o el clima, que determinan el beneficio por hectárea de cada explotación. Si se recoge toda esta información la comparación puede hacerse entre explotaciones similares y evaluar así el impacto relativo de diferentes prácticas sobre la sostenibilidad.
- **Adecuado al nivel de agregación del sistema** bajo análisis, a la escala de trabajo y a la complejidad de las relaciones del sistema bajo evaluación.
- Cuando sea el caso, la población local podrá involucrarse en la medición, por tanto, **el indicador debe centrarse en aspectos prácticos y claros.** En última instancia el agricultor debe ser capaz de hacer su seguimiento. El indicador debe describir un proceso o variable, input u output, sobre la que el agricultor tenga un control (por ejemplo, la cantidad de agua aplicada en un riego, o la cantidad de fertilizante añadido). Dado que muchos indicadores de los procesos productivos agrarios están fuera del control del agricultor, como por ejemplo las lluvias que determinan la producción de los cultivos o el precio pagado por esos productos que influye en el beneficio de la explotación, estos factores exógenos deben ser recogidos ya que influyen en la evolución interanual de los indicadores.
- **Medible a través del tiempo y en las mismas condiciones.** Los indicadores se medirán con una frecuencia apropiada para comprobar el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad. En la mayoría de los casos los indicadores son medidos de forma anual y solo con las series anuales puede estudiarse su tendencia (tal es el caso de los rendimientos). En otros casos pueden ser requeridos frecuencias de muestreo mayores. Por ejemplo, para un indicador definido como cantidad de agua de riego es más importante conocer las cantidades de agua empleadas durante la época seca, debidas al riego, que la cantidad total anual.
- **Significativo** en la medida de la sostenibilidad, en función del objetivo propuesto. El indicador debe recoger aquellos aspectos más importantes de cara al estudio de la sostenibilidad de la producción agraria. De tal forma que las prácticas de manejo puedan modificar su comportamiento y por tanto conducir a la explotación agraria hacia valores mayores de sostenibilidad.
- **Sensible** a los cambios en el sistema. Sensibilidad que puede manifestarse por la magnitud de las desviaciones a la tendencia. El indicador debe ser sensible,

especialmente a los procesos o variables que el agricultor puede controlar. Así por ejemplo el indicador rendimiento (producto cosechado) es más sensible que el indicador biomasa total producida por un cultivo.

- **Cumplir con una serie de estándares o condiciones extremas** que se exigen al sistema en el orden ambiental, ecológico, distributivo, económico, social y de otro tipo. Deben medir el cumplimiento de una serie de estándares o condiciones extremas que un sistema tiene que cumplir tales como: ambientales, ecológicas, distributivas, económicas, sociales y de otro tipo.
- **Independiente de otros indicadores.** Para evitar redundancias o sobre ponderaciones de algunos criterio y simplificar los cálculos. Deben evitarse emplear indicadores relacionados entre sí.
- **Comparables.** Los indicadores y en particular la escala de medida deben permitir la comparación entre ellos. Así, es conveniente que se definan sus valores en los mismos sentidos, es decir aplicar la misma escala para todos los indicadores. Esto puede conllevar la normalización de los resultados de los indicadores. Por ejemplo, grado de cumplimiento o satisfacción positiva, así el mayor valor se da al valor más alto del indicador referido a un mayor valor en la escala de la sostenibilidad.

El conjunto de indicadores debe ser robusto y no exhaustivo. Robusto en el sentido de que los indicadores cumplen con las condiciones descritas y que son sensibles con una medición suficiente. No deben ser exhaustivos, solo referirse a las categorías y elementos más significativos del sistema bajo análisis. No se pueden dar números pero de seis a ocho indicadores para un sistema parece un número razonable y manejable, mientras 20 o 30 no lo parece. Es necesario tratar de ser prácticos en la definición de un conjunto de indicadores, puesto que al considerar las condiciones que se deben cumplir, el sistema se hace muy complejo. Consideremos, por ejemplo, el sistema bosques, en la categoría recursos, el elemento vegetación. El descriptor sería la cobertura forestal. El indicador adecuado sería la deforestación y su evolución; sin embargo, hay muchas variables e indicadores adecuados para medir la deforestación, dependiendo del área total bajo consideración, la importancia local de la misma, el número de mediciones disponibles, o las necesidades de proyección de los resultados.

### **Estrategias de evaluación**

Las estrategias para determinar cuánto sostenible es un sistema se basan en la caracterización del concepto de sostenibilidad, en la definición de objetivos a alcanzar y en el conjunto de indicadores a evaluar. El proceso de evaluación representa uno de los más delicados del concepto de sostenibilidad.

Hay dos estrategias para la evaluación de la sostenibilidad: absoluta y relativa.

- **Evaluación absoluta:** este procedimiento investiga el comportamiento de los indicadores de un único sistema. En este caso, la validación se hace a partir de los márgenes de tolerancia definidos previamente o de los valores umbrales de cada indicador. Estos límites en muchos casos son determinados por estimación (a partir de la información suministrada por expertos) o por deducciones científicas (por ejemplo niveles críticos basados en ecotoxicidades. Esta forma de presentación es fácil de interpretar y de ser usada. El resultado final de esta evaluación consiste en una distancia o separación entre el valor que proporciona la medida del indicador en el sistema y el nivel de referencia establecido.

- **Evaluación relativa:** este procedimiento se establece por comparación de distintos sistemas entre sí o con respecto a un sistema de referencia. En estos casos no es necesario definir distintos márgenes de tolerancia o niveles umbrales. Con frecuencia



los resultados de la evaluación relativa se presentan en el rango entre cero y uno, donde el cero representa el valor negativo y el uno el valor positivo o mejor de cara a la sostenibilidad. Todos los indicadores se presentarán en el mismo sentido. De esta forma la evaluación relativa permite obtener conclusiones fáciles de entender. Sencillamente si el sistema por el que tomamos interés está por encima o por debajo del valor de referencia. No obstante, la transferibilidad de los resultados es baja, ya que solo puede ser aplicada a los sistemas evaluados.

La evaluación final de la sostenibilidad viene haciéndose a partir de un índice de sostenibilidad agregada. Este tipo de agregación tiene como ventajas la claridad a la hora de presentación de los resultados y la facilidad para la toma de decisiones. Como inconvenientes tiene la pérdida de información que supone la agregación y el grado de subjetividad debido a los pesos dados a los distintos indicadores que intervienen en el índice agregado. Para evitar, la ponderación es usual representar el conjunto de indicadores en gráficos de estrella, siguiendo por norma que el punto central u origen represente la menor sostenibilidad y el extremo exterior la mayor. Representados en este sentido todos los indicadores de tal forma que cada año del análisis temporal represente un polígono, que si se expande indica aumento de la sostenibilidad. También, es corriente normalizar los indicadores entre valores cero y uno para evitar representaciones con unidades de medida muy diferentes. En la evaluación va a intervenir el tomador de decisiones y por tanto la evaluación está condicionada al objetivo propuesto por éste, no pudiendo interpretarse los resultados fuera de ese objetivo.

Una vez concluido el proceso anterior de evaluación y seguimiento de los indicadores hay que interpretar los resultados obtenidos y elaborar las recomendaciones necesarias para que en el futuro se sigan cumpliendo los objetivos que se habían propuesto alcanzar de cara a la sostenibilidad. Los pasos a realizar son:

- Establecer las limitaciones del indicador.
- Interpretar los resultados con sus limitaciones:
  - Definir la intensidad de sus valores, grado de satisfacción del objetivo (alto, medio, bajo).
  - Definir los valores extremos.

### Gestión óptima de los recursos naturales

Cualquier recurso natural se puede considerar que es un activo para la sociedad en su conjunto. Si entendemos que la agricultura sostenible significa la búsqueda de un nivel de bienestar máximo que pueda ser heredado por todas las generaciones venideras, surgen dos condiciones necesarias para cumplir este objetivo. Estas condiciones son: la **eficiencia intertemporal** en la explotación de todos los recursos naturales y servicios ambientales; y la **equidad entre generaciones**. Para garantizar que la actividad agraria del futuro sea igual a la actual se tiene que conservar el stock agregado de capital natural existente. Esto implica que el incremento de productividad necesario, por ejemplo para abastecer a una población creciente, venga de la mejora o incremento de la eficiencia en el uso de los recursos (Mario Gómez, 1994).

Desde un punto de vista económico la explotación de un recurso tiene dos elementos clave: la **rentabilidad** que proporciona la explotación del recurso; y el **coste de oportunidad** del capital inmovilizado en el mismo. La gestión óptima es la que finalmente conduce a un equilibrio en el que la tasa de rendimiento obtenida de la explotación del recurso sea igual a la tasa de interés de la economía. Sin embargo, la gestión de recursos naturales, como ocurre en la actividad agraria, plantea diferencias sustanciales.

En primer lugar, muchos recursos son de propiedad común o de libre acceso. Como por ejemplo la radiación solar o el agua de lluvia, y por tanto carecen de precio. Por lo que no se puede cumplir el primer requisito y, en cualquier caso, el valor sería el que estos recursos tuvieran para la sociedad y no para sus propietarios. Esta ausencia de precio lleva a la sobreexplotación y degradación del recurso (por ejemplo los recursos suelo, agua o carbono). Pero otro problema lo presentan otros recursos naturales (por ejemplo una plantación arbórea), que aun teniendo precio genera una serie importante de externalidades (por ejemplo la fijación de carbono), eso se traduce en que la rentabilidad que puede obtener el arboricultor a partir de la explotación del árbol no recoge los beneficios que para la sociedad representa la existencia de esa plantación y su conservación. Tiene una serie de externalidades positivas que no quedan incluidas en su precio de mercado. Para solucionar estos problemas se plantea la valoración de los recursos naturales. De tal forma que reflejen los beneficios que la sociedad obtiene de su existencia o de su explotación. Junto con este enfoque económico en el cual los objetivos sociales marcarían la pauta, tenemos el aporte que la ecología ha proporcionado para la resolución de estos problemas, que se basa en la necesidad de preservar unos modelos de equilibrio del balance material.

La eficiencia en el uso de un recurso, aunque puede ser un parámetro indicador de un comportamiento adecuado del sistema de producción, resulta no ser un indicador válido cuando se trata el sistema en su conjunto. Así por ejemplo, una eficiencia muy elevada en el uso del agua en un cultivo de secano puede no estar permitiendo la recarga natural de un acuífero, por lo que desde un punto de vista ambiental no resulta ser adecuado utilizar sólo es indicador. Es por ello que se tenga que definir la **eficiencia agregada**. Con la eficiencia agregada se incorporan todas aquellas externalidades que el sistema tiene o genera. De tal forma que la eficiencia no es solo medida a partir del puro rendimiento económico, producción cosechada, si no también hay que valorar las externalidades producidas. Lo mismo ocurre cuando se maneja el recurso agua o suelo, ambos recursos pueden perderse en una explotación dada o en el sistema que se analiza pero a su vez puede recuperarse en otro lugar donde está generando otra utilidad. Esta transferencia ha sido por milenios la que ha permitido el cultivo con elevados rendimientos del bajo Nilo. Esto no quiere decir que el derroche de agua o la erosión del suelo sean necesarios, pero si son necesarios los valores naturales o ecológicos de su transferencia, para que otros subsistemas se puedan mantener, este es el problema que presentó la construcción de la presa de Asuán en Egipto. Es por ello que liguemos el concepto de eficiencia al de equidad. La eficiencia en el uso de un recurso debe ser equitativa con el uso que otra persona, otro agricultor, pueda hacer del mismo. Aquí planteamos por ejemplo la conveniencia o no de dedicar un recurso como el agua para unos cultivos u otros. Transferencias de recursos que en cualquier caso se pueden contemplar como transferencias de energía, o incluso mano de obra.

### **Síntesis de la agricultura española**

España cuenta con una población cercana a 47 millones de habitantes más 1,5 millones de personas equivalentes anuales por las visitas por turismo extranjero. En términos económicos la producción final agraria superó en 2012 los 43.000 millones de euros (metodología SEC-95). Las ventas de productos agroalimentarios al exterior alcanzaron un valor de 36.103 millones de euros durante el periodo marzo de 2012 a febrero de 2013, frente a unas importaciones de frente a unas importaciones que sumaron 30.469 millones de euros (MAGRAMA, 2013). Los principales productos exportados son: los cítricos, el vino, la carne de porcino, el aceite de oliva y las hortalizas frescas, que representan entre todos ellos casi el 40% del total de las

exportaciones. Por el contrario, los principales productos agrarios importados son: trigo, maíz, soja y pescado. Desde el punto de vista económico la balanza comercial agraria y pesquera de España tuvo en ese periodo un saldo positivo de 5.634 millones de Euros. La población activa que se dedica a la agricultura, silvicultura y la pesca fue de 1,05 millones de personas en 2012, y en el subsector de la industria agroalimentaria se dedican otras 0,5 millones de personas. La aportación de la agricultura en el total de la economía Española se sitúa en un 2,3% del PIB en 2012.

En España de las 50.536.500 ha que componen su superficie total, el 55% de la superficie está dedicada a usos agrícolas, el 35% del total de su superficie es forestal, y el 10% restante se clasifica en la categoría de otras ocupaciones (FAOSTAT, 2013). La superficie ocupada por cultivos herbáceos es de 12 millones de hectáreas (principalmente trigo, cebada y maíz), prados y pastizales ocupan 10,6 millones de hectáreas, los cultivos permanentes ocupan casi cinco millones de hectáreas (olivar, vid, cítricos y otros árboles frutales) y los cultivos hortícolas 380.000 ha (destacando por superficie y producción los cultivos de tomate, melón, cebolla y lechuga).

España es el país de la Unión Europea con mayor superficie puesta en riego. Más de 3,8 millones de hectáreas, que suponen algo menos del quince por ciento de la superficie agraria española pero que contribuyen en más del 30% en la producción final agraria. Esta superficie regada utiliza más del 68% de los recursos hídricos disponibles, en la línea de otros países mediterráneos como Grecia (83%), Italia (57%), Portugal (53%), y similares a otras zonas del mundo con igual clima. La sostenibilidad de los sistemas en regadío pasa por un uso más eficiente del agua y una reducción de las pérdidas por evaporación, así como evitar los problemas derivados con la salinidad del suelo o los problemas causados por el empleo de aguas de baja calidad. La dotación media del regadío es de  $7.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , cantidad necesaria para cubrir demandas de evapotranspiración superiores a  $10.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en los cultivos de regadío. No obstante, si el riego es una práctica indiscutible en zonas áridas y semiáridas, no es menos importante en aquellas zonas donde el desigual reparto de la precipitación genera importantes reducciones de cosechas, es por ello que la regulación del aporte de agua es una de las principales herramientas disponibles para aumentar la producción e incrementar la eficiencia con la que se manejan el resto de insumos. Los principales problemas que presentan los sistemas de regadío, cuando el agua es de buena calidad, son por un lado las pérdidas de agua de riego antes de su aplicación sobre el cultivo y por otro lado el riesgo de contaminación del agua sobrante aplicada en la parcela debida al arrastre de agroquímicos o lixiviados del suelo. Cuando se emplean aguas de baja calidad, los problemas aparecen cuando se acumulan los elementos contaminantes en el suelo o sobre los cultivos. En cualquier caso, en los sistemas en regadío si es necesario optimizar la eficiencia en el uso del agua correspondiente a la dotación de riego. Se define la eficiencia de riego como la razón entre la suma de los usos beneficiosos del agua de riego y la cantidad de agua aplicada en el riego. El objetivo es que la eficiencia de riego sea lo más alta posible. También, hay que maximizar la uniformidad en la distribución, que va a depender del sistema del riego y de la heterogeneidad estructural del suelo. Desde el punto de vista del ecosistema hay que analizar el uso del agua del regadío dentro de la cuenca hidrográfica y las posibilidades de reutilización aguas abajo. Pero, también hay que considerar el riesgo de contaminación de las aguas cedentes.

En España el tamaño medio de la explotación agraria es de 24 hectáreas de superficie agraria útil. El porcentaje de explotaciones con una superficie inferior a cinco hectáreas es del 53%. El nivel de mecanización es alto, por cada mil hectáreas cultivadas hay 58 tractores y tres cosechadoras, aunque inferior a la media de la Unión

Europea (UE-27). Considerando los tres elementos esenciales primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) y teniendo en cuenta la superficie total cultivada la cantidad aplicada media es de 43-16-18 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K casi la mitad del nivel medio de la UE-27.

Desde un punto de vista social, el trabajo en la explotación agraria puede ser clasificado por el nivel de capacitación y adiestramiento, y por el nivel de exigencia. En el primer caso abunda el tipo eventual frente al profesional, y en el segundo prima el trabajo muscular al manual-intelectual. Sin embargo, la tecnología tiende a cambiar: en el primer caso, hacia el trabajo profesional; y en el segundo, hacia el manual-intelectual. Por eso, la aplicación tecnológica en el campo de la agricultura tiende a aumentar la eficiencia de la mano de obra (horas de trabajo invertidas por unidad de superficie) y hacer el trabajo más ergonómico y saludable. Estos cambios permiten que procesos productivos que antes necesitaban mucha mano de obra (por ejemplo la recogida de tomate, uva o aceituna) puedan ser llevados ahora por trabajadores autónomos o pequeñas empresas de servicios con el instrumental y la maquinaria adecuada, reduciendo los costes de producción, aunque aumentado el consumo directo de energía. La edad media del agricultor español es elevada, el porcentaje de agricultores mayores de 55 años del 22% (European Commission, 2010).

El objetivo de este trabajo es iniciar e introducir dentro de las estadísticas agrarias del país y las recogidas por la FAO el concepto de Contabilidad de la Sostenibilidad Agraria, tanto a nivel país como de cualquier explotación agraria. Al igual que la contabilidad de costes se trata de realizar una contabilidad de la sostenibilidad de tal forma que faciliten la toma de decisiones para que los agricultores vayan adaptando sus prácticas agrarias hacia aquellas que van siendo más sostenibles en el transcurso de los años. Este trabajo que aquí presentamos está en parte recogido, del trabajo que previamente hemos publicado junto con Garrido *et al.* (2012).

### **Material e Métodos**

Para realizar esta contabilidad es necesario establecer unos criterios y unos indicadores robustos de sostenibilidad agraria para cada una de sus dimensiones: ambiental, agroecológica, económica, social y legislativa. Dado que no hay una transferencia inmediata de las prácticas sostenibles y cualquier tipo de agricultura puede o no ser sostenible, independientemente del adjetivo que empleemos para calificarla. La sostenibilidad solo puede ser demostrada una vez medida. El punto de partida es la formulación de la percepción de la sostenibilidad para el caso concreto que se quiere evaluar y por tanto el conjunto de objetivos que se quieren alcanzar (Figura 1).

### **Definición de objetivos**

El primer paso es definir los objetivos a partir de un proceso multiagente o determinado por las metas marcadas por el tomador de decisiones, en nuestro caso se acordaron juntamente con la Plataforma Tecnológica de Agricultura Sostenible (<http://www.agriculturasostenible.org>) que aglutina a todo el sector. En nuestro caso, los objetivos propuestos son, desde la dimensión agroecológica, reducir el uso de los recursos ambientales:

- Reducir la cantidad de tierra dedicada a la agricultura.
- Reducir el uso del agua (de riego y el consumo de agua en ganadería).
- Reducir las emisiones directas de CO<sub>2</sub>.
- Reducir las emisiones de gases efecto invernadero en ganadería.
- Reducir el consumo de energía.
- Reducir la erosión.
- Aumentar la fijación de carbono a nivel de la explotación agrícola.

Por otra parte desde el ámbito socio-económico los objetivos son:

- Aumentar la producción final agraria.
- Alcanzar la equidad de renta de la agricultura frente al resto de la sociedad.
- Reducir costes de producción

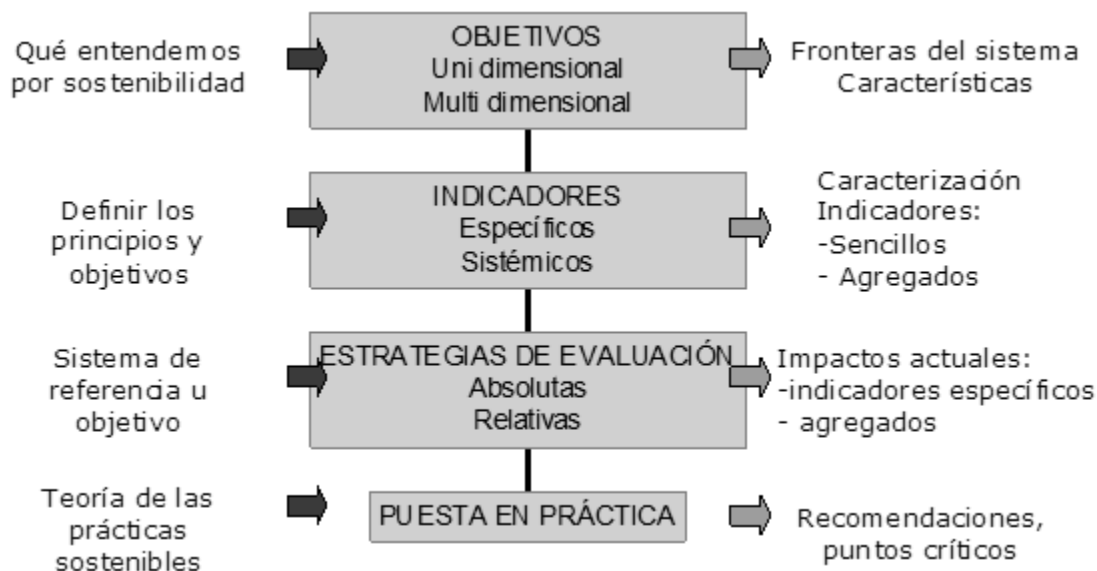


Figura 1 - Pasos en el proceso metodológico de evaluación de la sostenibilidad agraria, en los que se indican los datos requeridos (entradas) y los resultados (salidas) adaptado de Wiren-Lehr (2001).

### Indicadores de sostenibilidad

Los indicadores evaluados para cada una de las dimensiones del análisis son para los agroecológicos:

- **Uso de la tierra:** es el rendimiento y representa las hectáreas necesarias para producir una tonelada de producto. Es una medida de la eficiencia en el uso de la tierra.
- **Uso de agua:** expresa los metros cúbicos de agua utilizados para una determinada cantidad de producto final. Es una medida de la eficiencia en el uso del agua.
- **Uso de fertilizantes:** Cantidad de fertilizantes utilizados por unidad de producción o valor de la producción. Es una medida de eficiencia del uso del recurso fertilizante.
- **Pérdidas de suelo:** indican las toneladas de suelo perdidas por la cantidad producida. Es una medida de la eficiencia en el uso del recurso suelo.
- **Consumo de energía:** recoge la energía consumida en la producción de una determinada cantidad de producto. Es una medida de la eficiencia en el uso del recurso energético.
- **Balance de carbono:** se realizó el balance entre las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la mano de obra, tracción animal, emisiones directas (mineralización de la materia orgánica del suelo, uso de combustibles fósiles para labores agrícolas y otros motores de combustión) y emisiones indirectas (fertilizantes, productos fitosanitarios, semillas y plantones comerciales, riego y energía de bombeo, maquinaria y otros materiales incluidos).

invernaderos). Comparadas con las capturas de CO<sub>2</sub> en las distintas partes de la biomasa.

Indicadores socio-económicos:

- **Producción final agraria por habitante:** Resulta de la división de la renta agraria por el número de habitantes. Medida de la capacidad de la agricultura del país para producir alimentos y otras materias primas a la población.
- **Reta producida por agricultor:** Resulta de dividir la renta agraria por el número de trabajadores del campo. Es una medida de la equidad del sistema agrario este valor debe aproximarse a la renta per cápita del país o la productividad del trabajo de otros sectores económicos.
- **Precios pagados y percibidos:** este indicador compara la brecha entre los precios pagados por los consumidores a través de la evolución del índice de precios al consumo (IPC) y los precios percibidos por los agricultores (IPP). Este indicador incluye el valor añadido en la cadena alimentaria. Está relacionado con la dimensión de equidad de tal forma que la formación de precios sea justa.

Además para las producciones ganaderas se calcularon los indicadores:

- **Producto final por cabeza reproductora:** Cantidad de producto comercial obtenido por unidad reproductora.
- **Consumo de agua:** Es el consumo medio de agua de bebida y servicio en ganadería por unidad de producto final.
- **Emisiones de gases efecto invernadero:** Son las emisiones equivalentes en CO<sub>2</sub> incluidas las de metano y de óxido nitroso por cada unidad de producto final.

### Sistemas agrarios analizados

Los cultivos analizados han sido: trigo, cebada, maíz, girasol, remolacha azucarera, vid, olivar para aceite, agrios, melón y tomate, para una serie temporal de 1980-2008. Para el indicador balance de carbono se ha estudiado la evolución de tres cultivos representativos de la agricultura mediterránea española: Cebada representativo de los cultivos herbáceos extensivos, naranja como principal cultivo frutal arbóreo y tomate para consumo en fresco como principal cultivo hortícola intensivo en invernadero. En este caso se evaluaron los periodos 1940-1960, 1961-1975, 1976-1995 y 1996-2012. Las producciones ganaderas evaluadas han sido la carne de porcino, la carne de ave (pollos) y las gallinas de puesta (huevos) en el periodo 1992-2008.

### Fuentes de datos

El análisis de sostenibilidad se ha realizado partiendo de los datos provinciales recogidos en los anuarios de estadística del Ministerio de agricultura, Alimentación y Medio ambiente del gobierno de España en el periodo 1980-2008. También de las publicaciones de las macro magnitudes agrarias se ha obtenido la producción final agraria y la renta de los agricultores, así como los Índices de Precios al Consumo (IPC) y los Índices de Precios Percibidos (IPP) por los agricultores. Los datos sobre Erosión del suelo se han obtenido comparando el mapa de erosionabilidad del año 1988 (ICONA, 1988) con el elaborado entre 2002 y 2012 (Secretaría General del Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2013). Se ha calculado el consumo medio de agua de bebida y servicio en ganadería española según la información bibliográfica disponible. En el caso En avicultura, tanto el cálculo de las emisiones de óxido nitroso como las de metano, se han realizado separando por una parte las procedentes de aves

de carne y por otra las de aves de puesta. Una explicación más detallada de la metodología se encuentra en Garrido *et al.* (2012).

### Resultados y Discusión

En términos productivos la agricultura española presenta una marcada dualidad. Es importadora neta de granos básicos (trigo, maíz y soja) y exportadora neta de frutas y hortalizas, carne de porcino, aceite de oliva y vino. En términos monetarios la balanza comercial es positiva por encima de cinco mil millones de Euros. Además, una gran parte de los granos básicos se transforman en carne de porcino que después se exporta quedándose en el país el valor añadido.

### Indicadores agroecológicos

En el análisis temporal todos los cultivos han aumentado sus rendimientos. El ambiente mediterráneo y semiárido de España con periodos recurrentes de sequía hace que la producción interna de granos básicos en secano, principalmente trigo y cebada, presente grandes variaciones anuales. Así por ejemplo en la campaña 2001/2002 la producción nacional solo alcanzó el 62% del consumo de cereales que fue en total de 28 millones de toneladas, la campaña anterior 2000/2001 fue del 87%, pero la posterior 2002/2003 del 73% y así sucesivamente (Díaz-Ambrosio, 2007). El aumento de los rendimientos no puede ser indefinido (Figura 2).

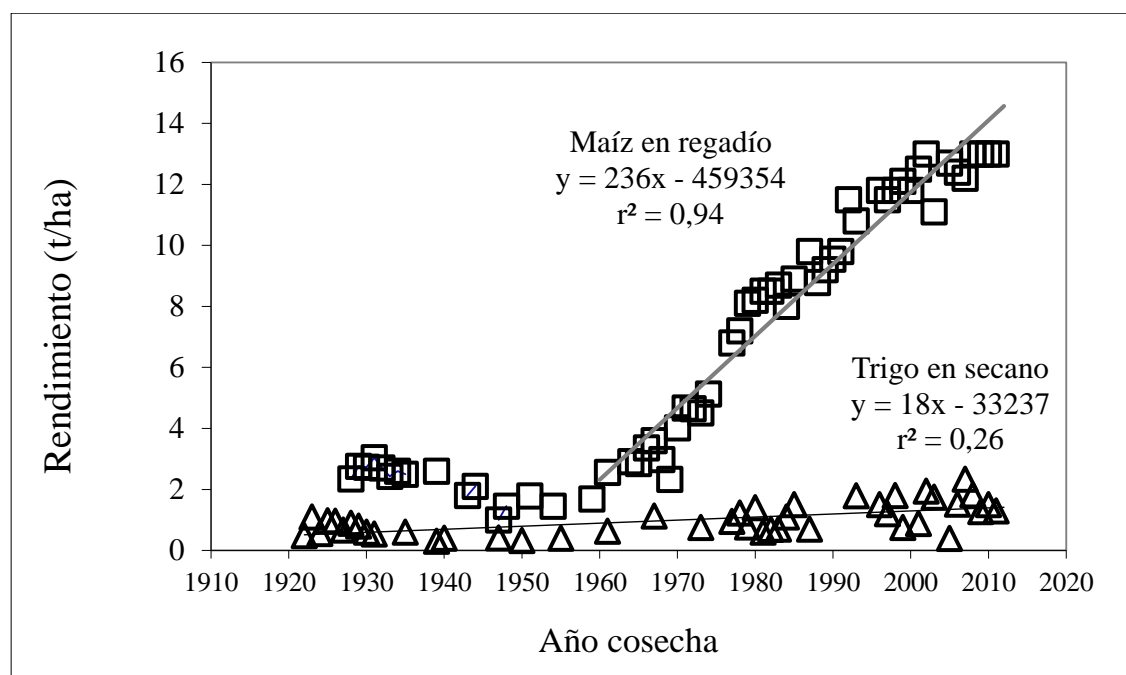


Figura 2 - Evolución del rendimiento medio del cultivo de maíz en regadío (cuadrado) y del trigo en secano (triángulo) en la provincia de Albacete (España) según los datos estadísticos del MAGRAMA (2013).

De hecho en algunos sistemas de cultivo se está llegando a los rendimientos potenciales, observándose en la serie una estabilización en los últimos años, como en el cultivo de maíz en regadío. Por ejemplo, en la provincia del Albacete (sureste español, precipitación media anual 367 mm) en el periodo 1960-2010 se alcanzó una tasa de incremento del rendimiento de maíz de 236 kg por año, estabilizándose el rendimiento en 13 t ha<sup>-1</sup> desde el año 2008 (Figura 2), comparado con un cereal de secano como el trigo que sólo ha conseguido un aumento medio de 18 kg por año, muestra la gran

dependencia que tiene la agricultura de secano de un factor que no puede controlar que es la lluvia, también los cultivos de secano muestra una menor estabilidad en el rendimiento que los de regadío como en este caso el maíz.

Para el **uso de agua** es diferente el resultado de los cultivos de regadío a los de secano. En los cultivos de regadío (maíz, remolacha, viñedo de mesa, cítricos, melón y tomate) ha habido una disminución significativa de la cantidad de agua utilizada por cada unidad de producto obtenido. Aunque, se aprecia cuando se analiza en términos monetarios, que en la última década se ha alcanzado el equilibrio, es decir técnicamente no se puede reducir más el consumo de agua que pasa a depender directamente de la transpiración del cultivo, mostrando la relación lineal que existe entre agua transpirada y producción de biomasa. En los cultivos de secano el consumo está estabilizado, en este caso el principal factor limitante de la producción es el agua, entonces cantidad de producto obtenido es directamente proporcional al agua disponible.

**Uso de fertilizantes:** En términos absolutos el consumo de fertilizantes en España ha ido aumentando hasta el año 2008, lo que ha permitido incrementos importantes del rendimiento, de tal forma que el indicador relativo (cantidad de fertilizante por unidad de producto o por valor de la producción) se ha reducido significativamente. Esto permite afirmar que los agricultores españoles emplean cada vez mejor el fertilizante y por tanto con menos riesgo para el medio ambiente. Si en los primeros años eran necesarias 35 toneladas de nitrógeno por cada millón de euros de producción final agraria en el año 2007 había descendido a 25 toneladas para alcanzar ese mismo valor de producción. Para el resto de macronutrientes el comportamiento ha sido igual, en fósforo se ha pasado de 17 toneladas de  $P_2O_5$  a 14 toneladas por millón de euros, y en potasio de 10 toneladas de  $K_2O$  a 11 toneladas en 2007. Aunque los años posteriores no están incluidos en este estudio, a raíz de la crisis del 2008 el consumo de fertilizantes en la agricultura española se ha reducido, lo que puede traducirse en una menor productividad agrícola y un aumento de los precios por escasez en la oferta. Este es un indicativo del esfuerzo que han realizado los agricultores para mejorar la aplicación de fertilizantes en sus explotaciones (fraccionamiento de las dosis, eliminación de las dosis en sementera, o fertilización de precisión son solo algunas mejoras introducidas en estos años).

El indicador **consumo de energía** pone de manifiesto dos cosas: el aumento de la mecanización y la disminución del trabajo manual. Trabajar más en menos tiempo y hacerlo con menos cantidad de mano de obra. Este indicador va a estar inversamente relacionado con el indicador empleo agrario, es por eso que ambos indicadores se definen en términos energéticos y se asigne al trabajador agrario no solo la energía de la actividad física que gasta sino toda la energía que consume, solo así es como se puede entender que la mecanización tienda a desplazar o hacer menos tedioso el trabajo manual. En términos absolutos el consumo de la energía por parte de la agricultura española ha aumentado, aunque solo representa el 2% del total de consumo aparente de energía de todo el país (Díaz-Ambrona, 2007).

El indicador **pérdida de suelo** o erosión presenta una mejoría entre la comparación del período 1980-1990 al 2002-2012, muestra los trabajos de prevención de la erosión realizados a partir del último cuarto del siglo XX y también la retirada de la producción de zonas marginales o no aptas para el cultivo. El empleo de técnicas de conservación del suelo por parte de los agricultores ha sido responsable de la disminución de las pérdidas de suelo medias. En todos los cultivos se produce más cantidad o más renta en proporción a la cantidad de suelo perdidas.

Sobre el **indicador balance de carbono**, en términos absolutos, desde el año 1940 la absorción de carbono del cultivo de cebada ha aumentado un 161%, pasado de 4,3 t



$\text{CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a  $7,0 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Tabla 1). En el cultivo de naranja el comportamiento es similar con un aumento del 163% pasando de  $5,7 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a  $9,3 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Mientras el cultivo tomate fresco en invernadero ha aumentado su absorción un 370% pasando de  $6 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a  $21,9 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Estos aumentos de las absorciones se han conseguido con un desigual comportamiento en las emisiones totales de  $\text{CO}_2$ . Las emisiones totales de  $\text{CO}_2$  en el cultivo de cebada han disminuido un 21%, pasado de  $3,7 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a  $2,9 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , descenso medio que se consigue incluso en aquellos sistemas que introducen el riego. Mientras en el cultivo de naranja las emisiones han aumentado el 21% aunque se observan dos periodos uno de crecimiento hasta alcanzar el máximo de emisiones con  $14 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  durante el periodo 1976-1995 para después descender hasta las actuales  $8,5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Tabla 1 - Estimación del balance de carbono en los principales grupos de cultivo de la agricultura española en los periodos 1940-1960 y 1996-2012.

| Uso del suelo                 | Sistema de cultivo de referencia | Superficie cultivada<br>(miles ha) |               | Balance de carbono medio<br>(Mt $\text{CO}_2$ ) |             |
|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------|---|-------------|
|                               |                                  | 1940-1960                          | 1996-2012     | 1940-1960                                       | 1996-2012   |
| Cultivos herbáceos extensivos | Cebada                           | 13.045                             | 12.584        | 7,80  | 49,2        |
| Cítricos                      | Naranja                          | 92                                 | 300           | -0,08   | 0,3         |
| Horticultura intensiva        | Tomate fresco                    | 1                                  | 75            | -0,04   | -9,4        |
| <b>Total</b>                  |                                  |                                    | <b>12.959</b> | <b>7,68</b>                                     | <b>40,1</b> |

El cultivo intensivo en invernadero de tomate para consumo en fresco ha experimentado un aumento de las emisiones del 360%. El balance de carbono en el cultivo de cebada ha pasado de fijar  $0,6 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a  $4,1 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , solo el periodo 1961-1975 mostró un balance negativo debido a una disminución del contenido de materia orgánica de los suelos, actualmente los sistemas de siembra directa alcanza un balance positivo de  $7 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . En el cultivo de naranja y tomate aunque en valores absolutos las emisiones han aumentado éstas lo han hecho en menor medida que las absorciones por lo que los balances han mejorado. En naranja se ha pasado de balances negativos en los tres primeros periodos que llegaron a  $-9 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a escenarios actuales con balances ligeramente positivos cercanos a  $1 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . El tomate de invernadero presenta el escenario más negativo en el balance de carbono pasado de  $-38 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a  $-125 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , causado sobre todo por el uso intenso de mano de obra que representa el 85% de las emisiones, no obstante en la actualidad según el itinerario técnico empleado el balance de carbono puede variar un 24% función del origen del agua de riego empleada (agua subterránea o agua desalada) y del tipo constructivo del invernadero (parral tradicional o multitúnel) y a pesar de que los rendimientos en tomate superen las  $100 \text{ t ha}^{-1}$ . Para el cultivo intensivo de tomate en invernadero las partidas que contribuyen en mayor porcentaje a las emisiones y por tanto negativamente en el balance son el ya mencionado uso intenso de mano de obra, el agua de riego y el tipo constructivo del invernadero por lo que deben ser esas tres el objeto de reducción para mejorar el balance en el futuro. Ponderando estos cultivos de

referencia a los sistemas que representan la agricultura española ofrecería actualmente un balance positivo de carbono, es decir fijaría CO<sub>2</sub>, en una cuantía de 3,1 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En esta situación la agricultura española actuaría como sumidero de carbono y podría llegar a compensar más del 30% de las emisiones establecidas para España en el protocolo de Kyoto. En esta estimación, si comparamos en primer periodo 1940-1960 la agricultura española ha multiplicado más de cinco veces su capacidad de fijación de carbono a pesar de la existencia de sistemas de cultivo con balances negativos (Tabla 1).

En general el conjunto de indicadores analizados presenta un mejor comportamiento en la actualidad que en el pasado (Figura 3). Indicando que la agricultura española camina en la senda de la sostenibilidad. Este conjunto de indicadores describe mejor la sostenibilidad que por ejemplo los indicadores absolutos que la OECD emplea para el seguimiento del comportamiento ambiental de la agricultura de sus países (OECD, 2008). Al no tener en cuenta los términos de eficiencia todo aumento de la población o de la producción agraria para la exportación va unido a un aumento de los recursos necesarios para su obtención (agua, nutrientes o energía entre otros). Por ejemplo, señala dicho informe, que el uso de la energía en la explotación agraria aumentó un 39% en el periodo 1990-92 al 2002-2004, valor que no refleja el cambio tecnológico introducido o el cambio de mano de obra por maquinaria, cuando nuestros cálculos indican que la producción ha aumentado por cada unidad energética empleada.

### **Indicadores socio-económicos**

La evolución de la Producción Final Agraria (PFA) de la agricultura española es especialmente sensible a eventos meteorológicos extremos, especialmente la sequía, como el período 1989/1992 y 2004/2006, debido a las desfavorables condiciones meteorológicas. El crecimiento se mantuvo hasta el año 2003, en que alcanza un máximo para descender desde entonces, con ligeros repuntes en el 2007 y 2008 provocados por la subida de los precios de los productos agrarios. La renta agraria mostro una tendencia creciente hasta el año 2004, a partir del cual el incremento de los costes de producción fue mayor al incremento de los precios percibidos por los agricultores. El indicador de empleo en la agricultura muestra una tendencia descendente, pero también un cambio en la estructura productiva de la agricultura española ya que mientras las reducciones considerables en el empleo no-asalariado, podemos decir en la desaparición de la agricultura familiar, en favor del empleo asalariado. La cantidad de renta producida por unidad de trabajo muestra un periodo de bonanza agrícola en el periodo 1981-2003, truncado a partir de ese año, quizás preludio de los acontecimientos económicos que iban a pasar en fechas posteriores.

Dentro de los indicadores relacionado con los insumos agrícolas no debemos analizarlo en términos de valor absoluto, como el que utiliza el Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE). Los indicadores de eficiencia o los valores per cápita, ayudan a entender el alcance de la mejora tecnológica de la agricultura española, por ejemplo con el indicador cantidad de nitrógeno por valor de la producción final agraria alcanzada, mostrando una tendencia decreciente, es decir se produce más valor con menos cantidad de fertilizante aplicado.

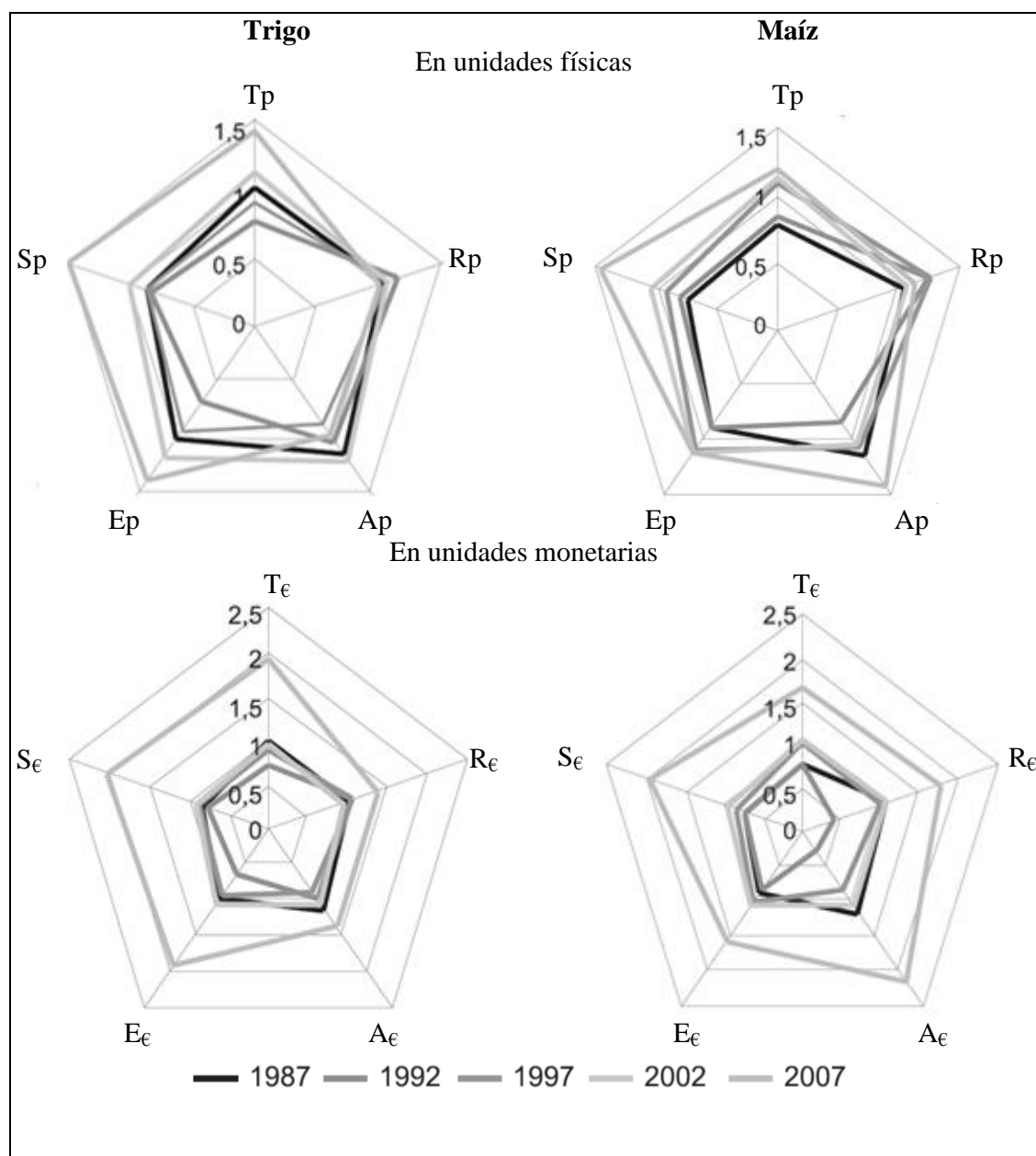


Figura 3 - Evolución de los indicadores normalizados uso de la tierra (T), uso del agua [de riego (R) y total(A)], energía (E) y pérdida de suelo (S) expresados en unidades de producto por unidad de recurso (p) y en unidades monetarias por unidad de recurso (€) para la cultivos de trigo y maíz en España. Adaptado de Garrido *et al.* 2012.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad global del país la población quiere que sus agricultores produzcan a precios reducidos mientras el agricultor trata de maximizar el precio de venta, entre ambos actúa la cadena de valor alimentario que puede llegar a producir grandes distorsiones entre los precios percibidos por los agricultores y los pagados por los consumidores. Así en las tendencias del IPC y del IPP se observa de forma generalizada que los precios percibidos por los agricultores han aumentado en una proporción menor al IPC general, es decir en términos reales venden más barato, sin embargo en los precios pagados por los consumidores, y especialmente en productos frescos ocurre lo contrario el aumento ha sido mayor al del

IPC general, por lo que los eslabones intermedios de la cadena alimentaria se están beneficiando de esa mayor brecha de precios.

### **Indicadores ganaderos**

El consumo total directo de agua para las tres producciones ganaderas evaluadas es de 63 hm<sup>3</sup> lo que representa el 0,07% de la disponibilidad total de agua en España. Las emisiones de gases efecto invernadero en 2008 calculadas fueron del 2,07% para porcino, 0,28% para aves de carne y 0,14% para aves de puesta respecto de las emisiones totales del país. Comparados estos valores de agua y emisiones por unidad de producto obtenido los descensos entre 1990 y 2008 han variado entre el 4% y el 22%. Este descenso sería resultado de la mejora de la eficiencia productiva y de la eficiencia en la alimentación. Téngase en cuenta que más del 80% de los gastos de estos sistemas de producción se atribuyen a la alimentación. La mejor conversión del alimento en producto implica un menor consumo de alimento (y también de agua) lo que lleva asociado una menor producción de estiércol (y entonces menores emisiones de metano y óxido nitroso) por unidad de producto obtenido.

### **Conclusiones**

La tendencia que presentan los indicadores agroecológicos muestra que la agricultura española utiliza menos agua y energía, pierde menos suelo y emite menos gases a la atmósfera para producir una unidad de producto o su equivalente en valor monetario. La intensidad de esas tendencias difiere entre producciones, siendo mayores en cultivos como el maíz, la remolacha, el viñedo, olivar para aceite, el melón o el tomate de industria con incrementos de productividad superiores al 200%. En los cultivos principalmente de secano como girasol, trigo y cebada, el incremento de productividad fue moderado entre el 25% y el 70%, en las condiciones de cultivo de secano el efecto de la variabilidad meteorológica es el principal factor limitante de la producción y de difícil gestión. En sistemas más especializados como los cítricos los incrementos también han sido moderados, en este caso porque ha primado la calidad y la estacionalidad de la producción que la productividad. Todos los sistemas de cultivos muestran una mejora en su capacidad por fijar CO<sub>2</sub>, mayor en los sistemas extensivo de producción que en los intensivos, en estos últimos el margen de maniobra es aun grande para mejorar el balance de carbono al estar más relacionado con el uso intenso de mano de obra, el origen del agua de riego y las infraestructuras de construcción de los invernaderos. La agricultura española puede capturar más del 30% de las emisiones permitidas por el protocolo de Kyoto. También, las producciones ganaderas han mostrado una tendencia positiva en todos los indicadores analizados: menos consumo de agua, menos emisiones de gases efectos invernaderos para cada cantidad de producto y mayor eficiencia reproductora. La tendencia de los indicadores socio-económicos se ha visto influida por el inicio de la crisis económica a partir del año 2004. En general la evolución de los precios fue equitativa para consumidores y agricultores, quizás algo distorsionada por el aumento de la brecha de valor en la cadena alimentaria, pero troncada a partir de 2004 y especialmente en 2007-2008 por el mayor incremento de los insumos agrícolas. La renta agraria por agricultor mostró una tendencia creciente hasta 2004 y un valor similar a la de otros sectores económicos. Mostrando a partir de ese año el preludio de la crisis económica. No se puede emitir un juicio sobre la evolución del empleo agrícola, ya que la tendencia es claramente descendente, ya que el desarrollo económico lleva implícito una reducción del empleo en el sector agrario para que el trabajador pueda dedicarse a otros sectores de actividad. Aunque, si es negativo de cara a la sostenibilidad agraria el envejecimiento de su

población (por tener una media superior a los 50 años), problema que sería necesario abordar en otro estudio.

En términos generales los indicadores de sostenibilidad de la agricultura y ganaderías española analizadas muestran una tendencia favorable a la sostenibilidad. Necesitamos para seguir verificando la salud de la agricultura española y de la agricultura de cualquier país y la mundial que la contabilidad de la sostenibilidad sea incorporada en los procesos estadísticos oficiales de tal forma que pueda comprobarse anualmente su evolución. Hemos presentado un conjunto de indicadores que fácilmente pueden obtenerse de las estadísticas oficiales por lo que debería añadirse a sus bases de datos. No obstante, hay que tener en cuenta el carácter dinámico del concepto de sostenibilidad, dado que los objetivos van modificándose conforme avancen las demandas sociales o mejor conocemos el medio ambiente.

### **Agradecimientos**

A la Plataforma Tecnológica de Agricultura Sostenible de España y a todas aquellas personas que han participado en el proyecto «Indicadores de sostenibilidad de la agricultura y ganadería españolas» especialmente: Alberto Garrido, Carlos de Blas, Fanny Ruiz, Isabel Bardají, Jorge Ruiz, Mónica Garrido, Pilar Linares y Rosario García. A Mía Casla por su participación en el estudio: «Evolución del balance de carbono en la agricultura española» Asimismo al profesor Dr. Luis Humberto Castillo Estrada por sus comentarios y organización del V SIMBRAS.

### **Literatura citada**

CONNOR, D.J.; LOOMIS, R.S.; CASSMAN, K.G. **Crop Ecology. Production and management of agricultural systems**. Cambridge University Press, UK, 2011. 562p. 2011.

DÍAZ-AMBRONA, C.G.H. **Aplicación de modelos en los sistemas agrícolas de secano de la meseta central: Simulación de rotaciones y modelado de la arquitectura de la planta en leguminosas**. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1999. In: [Http://oa.upm.es/310/](http://oa.upm.es/310/) (acceso 30 agosto de 2013).

DÍAZ-AMBRONA, C.G.H. La agricultura no es una alternativa energética global. **Agricultura**, v.76, p.110-111, 2007. In: [Http://oa.upm.es/1938/1/AMBRONA\\_ART\\_2007\\_01.pdf](http://oa.upm.es/1938/1/AMBRONA_ART_2007_01.pdf) (acceso 30 agosto de 2013).

EUROPEAN COMISION. **Agriculture in the EU Statistical and Economic Information Report 2010**. In: [Http://ec.europa.eu/agriculture/agrista/2010/table\\_en/2010enfinal.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/agrista/2010/table_en/2010enfinal.pdf) (acceso 30 agosto de 2013).

FAOSTAT. **Agriculture database**. 2013. In: [Http://faostat3.fao.org](http://faostat3.fao.org) (acceso 30 agosto de 2013).

FRYE, W.W.; THOMAS, G.W. Management of long-term field experiments. **Agronomy Journal**, v.83, p.38-44, 1991.

GARRIDO, A.; BARDAJÍ, I.; DE BLAS, C. et al. **Indicadores de sostenibilidad de la agricultura y ganadería españolas**. Fundación Cajamar, 2012. 202p. In:

[Http://www.fundacioncajamar.es/content/publicaciones/indicadores-de-sostenibilidad-de-la-agricultura-y-ganadera-espaolas\\_616](http://www.fundacioncajamar.es/content/publicaciones/indicadores-de-sostenibilidad-de-la-agricultura-y-ganadera-espaolas_616) (acceso 30 agosto de 2013).

GONZÁLEZ DE MIGUEL, C.; DÍAZ-AMBRONA, C.H.; POSTIGO, J.L. **Evaluación de la sostenibilidad agraria. El caso de La Concordia (Nicaragua)**. Ingeniería sin fronteras. 2009. In: [Http://oa.upm.es/1746/](http://oa.upm.es/1746/) (acceso 30 agosto de 2013).

GOODMAN, D.; REDCLIFT, M. Examen crítico de la crisis agrícola internacional. **Agricultura y Sociedad**, v.52, p.35-64, 1989.

GRASS, R., BENOIT, M., DEFFONTAINES, J.P. et al. **Le fait technique en agronomie. Activité Agricole, concepts et Méthodes d'Étude**. Institut National de la Recherche Agronomique, L'Hamarttan, Paris, France, 1989. 1984p.

ICONA. **Mapas de Estados Erosivos**. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Madrid. España. 1988.

JIMENEZ DÍAZ, R.M. Concepto de sostenibilidad en agricultura. In M. Jiménez Díaz y J. Lamo de Espinosa (Coor.), **Agricultura sostenible**. Mundi Prensa, Madrid, p.3-13, 1998.

LE PAPE, Y. La agricultura biológica: realidades y perspectivas. **Agricultura y Sociedad**, v.20, p.109-119, 1981.

LEHMAN, H., CLARK, E.A., WEISE, S.F. Clarifying the definition of Sustainable Agriculture. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v.6, p.127-144, 1993.

LEWANDOWSKI, I., HÄRDTLEIN, M, KALTSCHMITT, M. Sustainable crop production: definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. **Crop Science**, v.39, p.184-193, 1999.

MAGRAMA. **Anuarios de Estadística Agraria**. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, España. 2013. In: [Http://www.magrama.gob.es](http://www.magrama.gob.es) (acceso 30 agosto de 2013).

MARIO GÓMEZ, C. Desarrollo sostenible y gestión eficiente de los recursos naturales. In: Diego Azqueta y Antonio Ferreiro (eds) **Análisis económico y gestión de recursos naturales**. Alianza Editorial, Madrid, p.73-100, 1994.

OECD. **Environmental performance of agriculture in OECD countries since 1990: Spain**. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France. In: [Http://www.oecd.org/dataoecd/37/16/40636982.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/37/16/40636982.pdf) (acceso 30 agosto de 2013).

RAE. **Diccionario de la Real Academia de la lengua española**. In: [Http://lema.rae.es/drae/](http://lema.rae.es/drae/) (acceso 30 agosto de 2013).

ROSSET, P.M., ALTIERI, M.A. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. **Society & Natural Resources**, v.10, p.283-295, 1997.

SANDOR, J.A., EASH, N.S. Significance of ancient agricultural soils for long-term agronomic studies and sustainable agriculture research. **Agronomy Journal**, v.83, p.29-37, 1991.

SECRETARIA GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. **Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012**. Varios títulos. Ministerio de Medio Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. España. 2013.

THOMAS, V.G., KEVAN, P.G. Basic principles of agroecology and sustainable agriculture. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v.6, p.1-20, 1993.

VEREIJKEN, P. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. **European Journal of Agronomy**, v.7, p.235-250, 1997.

WIRÉN-LEHR, S. VON. Sustainability in agriculture — an evaluation of principal goal-oriented concepts to close the gap between theory and practice. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.84, p.115–129, 2001.